

Aspetti inventariali dei rimboschimenti di pino nero in provincia di Rieti

Andrea Lamonaca, Paolo Calvani, Diego Giuliarelli e Piermaria Corona

Dipartimento di Scienze dell'Ambiente Forestale e delle sue Risorse, Università della Tuscia,
via San Camillo de Lellis, 01100 Viterbo. E-mail: alamo.sisfor@unitus.it

Riassunto

Durante il secolo scorso furono realizzati molti rimboschimenti di pino nero in ambito appenninico al fine di recuperare terreni degradati. Vari Autori hanno formulato proposte di gestione per la rinaturalizzazione di questi soprassuoli. La loro applicazione comporta però elevati costi di rilievo in sede di analisi. Obiettivo di questa nota è la proposizione di una metodologia di inventario ricognitivo degli attributi di questo tipo di soprassuoli che consenta di ottenere dati sufficientemente attendibili su ampie superfici, a costi relativamente contenuti. A livello sperimentale è stata realizzata la mappatura dei rimboschimenti di pino nero della provincia di Rieti. La tecnica k -NN è stata utilizzata per spazializzare la provvigione legnosa a partire da aree di saggio a terra con l'ausilio di un'immagine telerilevata Landsat 7 ETM+. A scopo esemplificativo, gli aspetti inventariali sono integrati da misure ecologico-paesistiche per la descrizione spaziale dei rimboschimenti mappati.

Parole chiave: inventari forestali, Landsat, ortofoto digitali, k -NN, provvigione legnosa

Surveying black pine plantations in the province of Rieti (Italy)

Abstract

*In the last century large afforestation programs were carried out in the Apennines to recover degraded lands, mainly by *Pinus nigra* plantations. Currently, many Authors have proposed management guidelines to foster the naturalization of such woodlands. However, such an option requires the availability of detailed surveys. The aim of this note is to propose a survey protocol for qualifying the landscape pattern of pine reafforestations and for mapping their growing stock on the basis of the k -Nearest Neighbor (k -NN) techniques. A case study application by Landsat 7 ETM+ imagery is here reported concerning the *Pinus nigra* plantations in the province of Rieti (Central Italy).*

Keywords: forest inventory, Landsat, digital orthophotos, k -NN, growing stock

Introduzione

Il pino nero (*Pinus nigra* Arnold) è stata una delle specie maggiormente utilizzate nei rimboschimenti appenninici del secolo scorso, sia per le sue preferenze ecologiche di specie pioniera che la rendono particolarmente idonea per il recupero di aree degradate, sia per la facilità di allevamento in vivaio, che per la tolleranza a densità di impianto relativamente elevate [Bernetti, 1995]. Gran parte dei rimboschimenti a prevalenza di pino nero sulla dor-

sale appenninica furono realizzati sotto la direzione del Corpo Forestale dello Stato, negli anni '30 e '50, in attuazione di provvedimenti legislativi emessi in quei periodi; l'azione di rimboschimento è proseguita fino a circa venti anni fa, periodo a cui risalgono gli impianti di pino nero più giovani attualmente presenti.

Vari Autori (a esempio: Nocentini [1995]; Cantiani [2000]; Bianchi e Paci [2002]; Boscaleri et al. [2004]; Bellezza et al. [2005]), partendo dallo studio della struttura somatica dei popolamenti, hanno formulato proposte di gestione per i rimboschimenti di pino nero, generalmente a una scala di osservazione a livello assestamentale. Sotto il profilo tecnico-operativo, la difficoltà di analisi di questo tipo risiede soprattutto negli elevati costi di rilievo.

Obiettivo di questa nota è la sperimentazione di una metodologia per l'inventario ricognitivo degli attributi di questo tipo di soprassuoli, che consenta di ottenere informazioni sufficientemente attendibili su ampie superfici a costi relativamente contenuti. A tal fine è stato realizzato un inventario dei rimboschimenti di pino nero in provincia di Rieti, avvalendosi in particolare della tecnica *k*-NN per la spazializzazione, con l'ausilio di immagini telerilevate, della provvigione misurata a terra in aree di saggio temporanee. Oltre alle valutazioni provvigionali vengono riportate anche alcune analisi ecologico-paesistiche, allo scopo di esemplificare più compiutamente le potenzialità della metodologia proposta.

Mappatura dei rimboschimenti

Secondo i dati *Corine Land Cover* 2000 (CLC2000, vd. Maricchiolo et al. [2004]) in provincia di Rieti sono presenti circa 2500 ettari di boschi a prevalenza di conifere, composti da pini montani e oromediterranei [Bologna et al., 2004]; sono segnalati inoltre circa 2100 ettari di boschi misti di conifere e latifoglie, sempre a prevalenza di pini montani e oromediterranei. Federici [1999] riporta 187 impianti di rimboschimento di pino nero censiti dal Corpo Forestale dello Stato; oltre la metà, per una superficie pari a circa 2700 ettari, sarebbero monospecifici, mentre i restanti 2000 ettari sarebbero misti in varia percentuale con altre specie, tra cui pino d'Aleppo, pino domestico, pino silvestre, pino insigne, larice, abete rosso e abete bianco, cipressi, cedri, douglasia, ontano napoletano e leccio.

Nella presente indagine la mappatura dei rimboschimenti di pino nero (soprassuoli in cui il pino nero ha una copertura maggiore del 75%), supportata dall'archivio messo a punto da Federici [1999], è stata condotta tramite utilizzo delle ortofoto a colori del progetto IT2000 (risoluzione nominale: 1 m), con riferimento a una unità minima cartografabile pari a 0,5 ha, oltre che di un'immagine multispettrale ortorettificata Landsat 7 ETM+ [Tucker et al., 2004] acquisita il 9 giugno 2001. Le combinazioni tra le bande spettrali dell'immagine satellitare hanno consentito di identificare in falsocolore in maniera univoca e speditiva i rimboschimenti di pino nero anche all'interno di matrici forestali composte prevalentemente da formazioni di latifoglie. La mappatura ottenuta è stata verificata a terra con controlli mirati in particolare alla valutazione della prevalenza del pino nero nell'ambito dei rimboschimenti identificati.

I poligoni a rimboschimento di pino nero sono stati analizzati sulla base della loro distribuzione in unità fitoclimatiche [Blasi, 1994] ed ecopedologiche [Montanarella et al., 2003]. Per ciascuna di esse sono stati calcolati indici che forniscono indicazioni di forma e frammentazione dei rimboschimenti [Turner et al., 1989; Saunders et al., 1991], quali la superficie totale, il perimetro complessivo, la dimensione media della singola tessera di rimboschimento (*MPS*), la densità di ecotono (*ED* - rapporto tra il perimetro della tessera e l'intera superficie rimboschita) e la dimensione frattale media di ogni tessera rimboschita (*MPFD* - valori compresi tra 1, se le tessere rimboschite hanno perimetri semplici, e 2, quando la geometria dei rimboschimenti è complessa). Per ogni unità sono state inoltre verificate eventuali differenze significative tra i valori di *MPS*, *ED* e *MPFD* mediante l'analisi della varianza univariata.

È stata verificata inoltre l'esistenza di *core area*, ossia aree interne ai rimboschimenti, distanti dal perimetro esterno almeno 40 m (distanza pari al raggio del cerchio avente superficie equivalente all'unità minima mappabile, vd. Vogt et al. [2007]). In ambito GIS è stato infine analizzato l'uso e la copertura del suolo CLC2000 delle superfici adiacenti ai rimboschimenti, per una profondità pari a 282 m (corrispondente al raggio dell'unità minima mappabile di CLC2000).

Rilevamento e spazializzazione della provvigione legnosa

A ciascun rimboschimento censito è stata sovrapposta una griglia con celle pari a 3x3 pixel delle immagini Landsat (Fig. 1). Per ogni cella è stato calcolato l'indice di vegetazione NDVI, attributo notoriamente correlato con la produttività e la biomassa dei soprassuoli forestali [Wang et al., 2004]. Sono state escluse le celle con valori di NDVI negativi o prossimi a zero. Tra le celle rimanenti sono state selezionate casualmente 48 celle campione in modo proporzionale alla distribuzione delle frequenze dei valori NDVI (campionamento casuale stratificato).

In corrispondenza del centroide di ciascuna cella campione è stata realizzata a terra un'area di saggio di forma circolare ($r = 16$ m) per la stima della provvigione legnosa unitaria (espressa in m^3ha^{-1}), determinata mediante tavole stereometriche a una entrata [Hellrigl, 1969a; 1969b], ritenute localmente valide in base ad analisi preliminari.

Al fine di evitare fenomeni di multicollinearità nell'applicazione della tecnica k -NN, i potenziali predittori, rappresentati dai valori di numero digitale (DN) delle sette bande spettra-

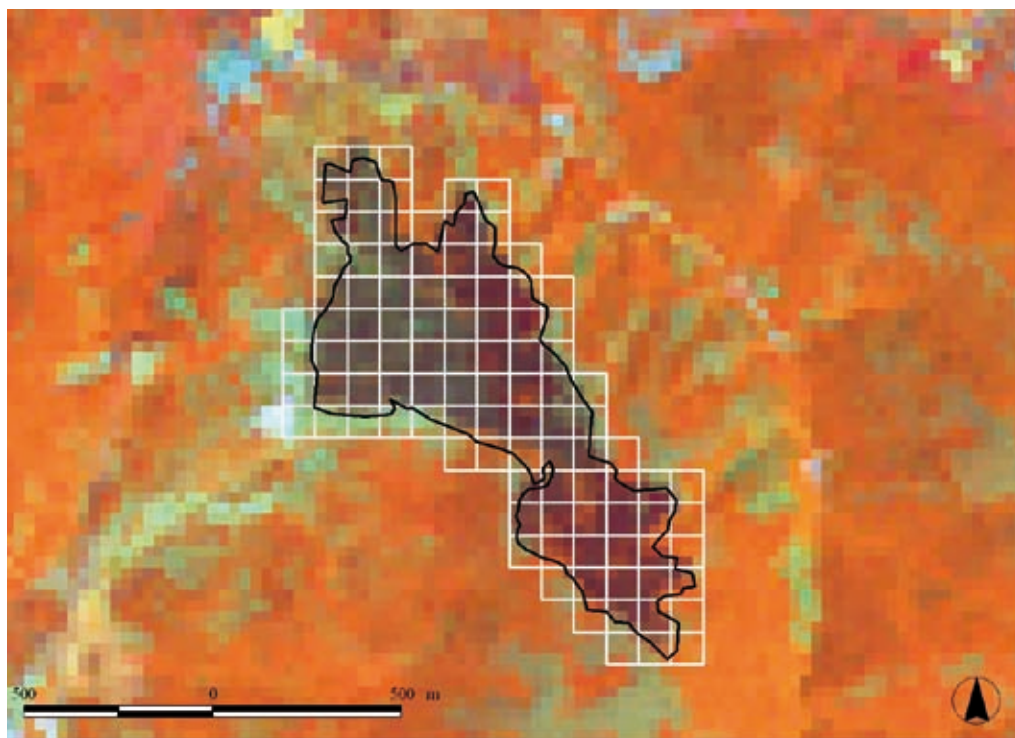


Figura 1 - Rimboschimento di pino nero su immagine falsocolore Landsat 7 ETM+ (RGB = 453), con sovrapposte celle di 3x3 pixel.

li Landsat, dalle loro combinazioni in forma di indici di vegetazione e da variabili ancillari ottenute dal modello digitale del terreno (con passo di 20 m), sono stati preliminarmente selezionati mediante regressione *stepwise*. I predittori risultanti sono stati: le bande spettrali Landsat 2, 3, 4 e 5, l'indice *SR* (*Simple Ratio*, vd. Birth e McVey [1968]), l'indice *MIRI* (*Mid-InfraRed Index*, vd. Musick e Pelletier [1986]), l'indice *NLI* (*Non-Linear vegetation Index*, vd. Goel e Qin [1994]), l'indice *SLAVI* (*Specific Leaf Area Vegetation Index*, vd. Lymburner et al. [2000]), la quota e la pendenza del terreno.

La distanza spettrale utilizzata è stata quella di Mahalanobis pesata con pesi *fuzzy* (per dettagli esplicativi, si rimanda a Maselli et al. [2003]).

La scelta del valore k che ottimizza le prestazioni dell'algoritmo k -NN è stata effettuata tramite *cross-validation*, utilizzando il metodo *leave-one-out* (per dettagli esplicativi, si rimanda a Chirici e Corona [2006]), testando valori di k compresi tra 1 e 30. In particolare, la scelta di k , ossia del numero di pixel più vicini da prendere in considerazione per la stima pesata della provvigione legnosa, è stata basata sul criterio proposto da Katila [2004], che prevede di scegliere il valore di k per il quale il decremento di *RMSE* (scostamento quadratico medio tra valori stimati e valori reali, ottenuto dalla *cross validation*) tra k e $k-1$ è inferiore a 0,5% in un intervallo compreso tra k e $k+5$.

La migliore configurazione così ottenuta è stata infine applicata ai rimboschimenti mappati (vd. § 2), al fine di spazializzare i valori di provvigione legnosa misurati nelle 48 aree di saggio a terra.

Risultati

I rimboschimenti mappati hanno una superficie complessivamente pari a 2484 ha. Dall'incrocio con i dati del Corpo Forestale dello Stato risulta che essi sono stati eseguiti prevalentemente su terreni di proprietà pubblica e utilizzando generalmente provenienze austriache. Sebbene concentrata attorno a cinquanta anni, l'età dei rimboschimenti ha un ampio campo di variazione: dai più recenti impianti eseguiti poco più di 20 anni fa si arriva a rimboschimenti eseguiti all'inizio del secolo scorso (età superiore a 90 anni).

Gli impianti sono localizzati prevalentemente su esposizioni a sud, a quote comprese tra 400 m e 1650 m s.l.m., su pendenze mediamente pari al 38%, spingendosi comunque fino a pendenze anche superiori al 90%.

La superficie delle singole tessere rimboschite varia da circa 0,5 ha (pari all'unità minima cartografabile) fino a un massimo di circa 113 ettari, con un valore medio pari a circa 8 ha e una forma geometrica generalmente compatta (valore complessivo di *MPFD* pari a 1,34).

In prevalenza i rimboschimenti di pino nero sono localizzati nella regione bioclimatica mesaxerica/axerica fredda, termotipo montano inferiore; solamente tre rimboschimenti sono stati realizzati nell'ambito del termotipo collinare inferiore/superiore (7 ha). Differenze significative sono state riscontrate nei valori di *MPFD* calcolati per unità fitoclimatica. I valori degli indici analizzati sono indicati in Tabella 1.

L'analisi per unità ecopedologiche evidenzia come i rimboschimenti di pino nero siano stati realizzati principalmente su rilievi montuosi e collinari prevalentemente calcarei, sebbene la tessera di dimensione media con il valore più alto sia ubicata su rilievi montuosi arenaceo-pelitici (13,9 ha).

Le *core area* (Fig. 2) sono complessivamente 180: le loro superfici hanno dimensioni variabili da 0,5 ha fino a oltre 63 ha, con valore medio pari a circa 5,1 ha; solo nel 20% dei casi una stessa tessera rimboschita contiene più di una *core area*.

Le superfici adiacenti ai rimboschimenti sono caratterizzate per il 60% da altre formazioni forestali, in particolare boschi di querce caducifoglie e faggete, e per il 24% da cespuglieti o comunque superfici con vegetazione erbacea; quasi l'8% delle superfici adiacenti ai

Tabella 1 - Caratteristiche spaziali dei rimboschimenti di pino nero in provincia di Rieti: *S* = superficie; *MPS* = dimensione media delle tessere rimboschite; *ED* = densità media di ecotono delle tessere rimboschite; *MPFD* = dimensione frattale media delle tessere rimboschite.

	<i>S</i> [ha]	<i>MPS</i> [ha]	<i>ED</i> [m ha ⁻¹]	<i>MPFD</i>
Unità fitoclimatiche				
<i>Regione axerica fredda - Termotipo subalpino inferiore</i>	381	7,4	0,8	1,33
<i>Regione mesaxerica/axerica fredda - Termotipo montano inferiore</i>	1231	6,8	0,8	1,35
<i>Regione mesaxerica - Termotipo collinare superiore</i>	865	6,9	0,7	1,33
<i>Regione mesaxerica - Termotipo collinare inferiore/superiore</i>	7	2,3	0,4	1,34
Unità ecopedologiche				
<i>Terrazzi alluvionali antichi</i>	5	2,3	0,4	1,33
<i>Alvei e terrazzi fluviali recenti e attuali</i>	2	-	-	-
<i>Conche intermontane dei massicci carbonatici</i>	13	3,7	0,4	1,28
<i>Colline conglomeratiche e sabbiose</i>	36	2,3	0,4	1,33
<i>Rilievi collinari arenaceo-pelitici</i>	25	5,3	0,7	1,34
<i>Rilievi montuosi arenaceo-pelitici</i>	250	13,9	1,0	1,32
<i>Rilievi collinari prevalentemente calcarei e dolomitici</i>	717	8,4	0,9	1,33
<i>Conoidi, falde di detrito e morene</i>	11	8,5	0,9	1,30
<i>Rilievi montuosi prevalentemente calcarei</i>	1101	6,2	0,8	1,35
<i>Aree sommitali e versanti dei rilievi montuosi prevalentemente calcarei</i>	324	7,7	0,9	1,35

rimboschimenti sono aree agricole eterogenee e circa il 4% sono spazi aperti con o senza vegetazione; le superfici rimanenti sono caratterizzate da altre aree agricole (3%) e aree urbane (1%).

Le distribuzioni diametriche rilevate nelle aree di saggio non sono significativamente discoste dalla distribuzione gaussiana tipica dei popolamenti coetanei. In media, si registrano 1703 alberi a ettaro (CV = 5,4%), l'area basimetrica è pari a 37,76 m²ha⁻¹ (CV = 4,6%), la provvigione legnosa è di 300 m³ha⁻¹ (CV = 4,7%); il diametro massimo misurato è di 40 cm.

Il numero ottimale di pixel *più vicini* per la spazializzazione della provvigione legnosa mediante procedura *k*-NN è risultato pari a 11 (Fig. 3). Adottando una simile configurazione è stata realizzata una cartografia della provvigione legnosa nei rimboschimenti a prevalenza di pino nero per l'intera provincia di Rieti (Fig. 4). Il valore complessivo di provvigione

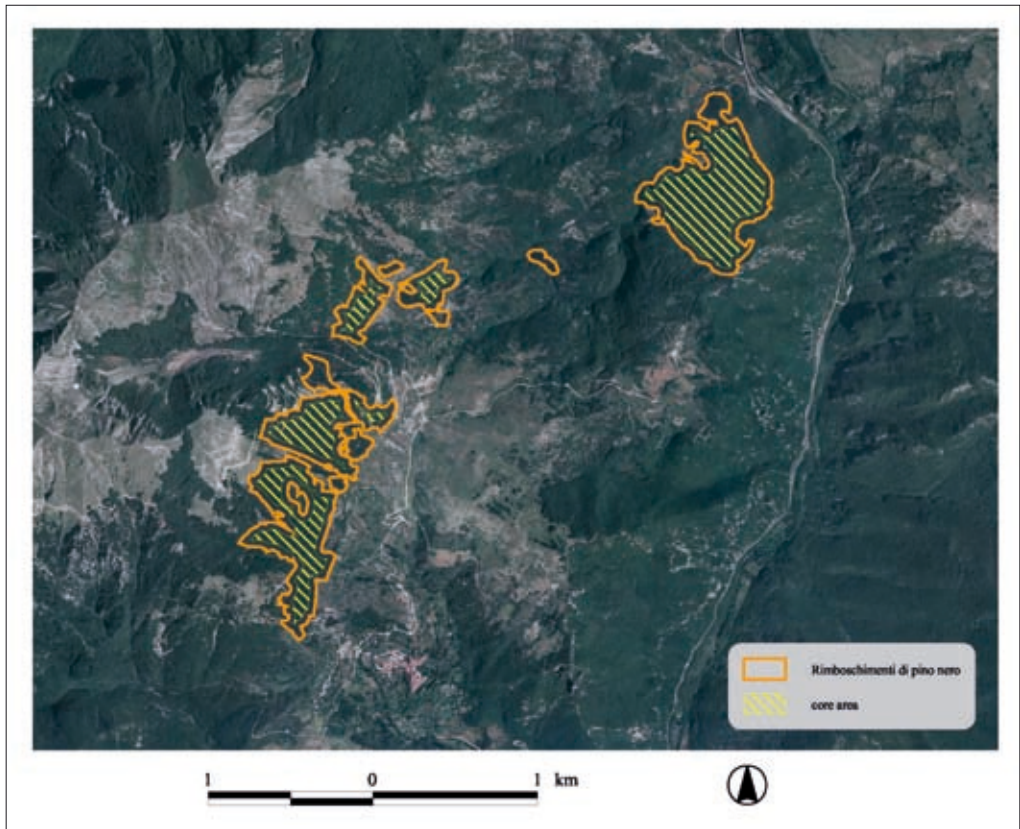


Figura 2 - Rimboschimenti di pino nero su ortofoto IT2000, con evidenziate le *core area*.

legnosa è stimato pari a circa 750400 m³. Il valore di provvigione unitaria più elevato si registra nel comune di Collegiove con quasi 328 m³ha⁻¹, mentre quello mediamente più basso si ha nel comune di Longone Sabino, con circa 274 m³ha⁻¹ (Tab. 2).

Discussione

I rimboschimenti a prevalenza di pino nero della provincia di Rieti rappresentano un patrimonio ambientale cospicuo e di particolare interesse per le sue caratteristiche. Sono stati realizzati in zone con assenza di aridità estiva, con freddo invernale intenso e precipitazioni relativamente abbondanti, su rilievi montuosi con substrato calcareo e suoli formati prevalentemente da *Rendzic Leptosols* e *Calcaric Cambisols*.

La generale compattezza formale di questi rimboschimenti configura una diffusa presenza di *core area*, con un effetto ambivalente sotto il profilo ecologico. Se da un lato, infatti, essa favorisce l'instaurarsi di condizioni di nemoralità, che, seppure artificiali, hanno potenziali ricadute positive per molte specie vegetali e animali legate agli habitat boschivi (a esempio, picidi), dall'altro è correlata, a parità di altri fattori, a una maggiore resistenza relativa ai processi spontanei di rinaturalizzazione. L'assenza di differenze significative, sia in termini di dimensioni che di forma geometrica, tra le tessere rimboschite nelle diverse unità fitoclimatiche ed ecopedologiche testimonia la genericità dei criteri a suo tempo adottati per la progettazione paesistica di questi rimboschimenti.

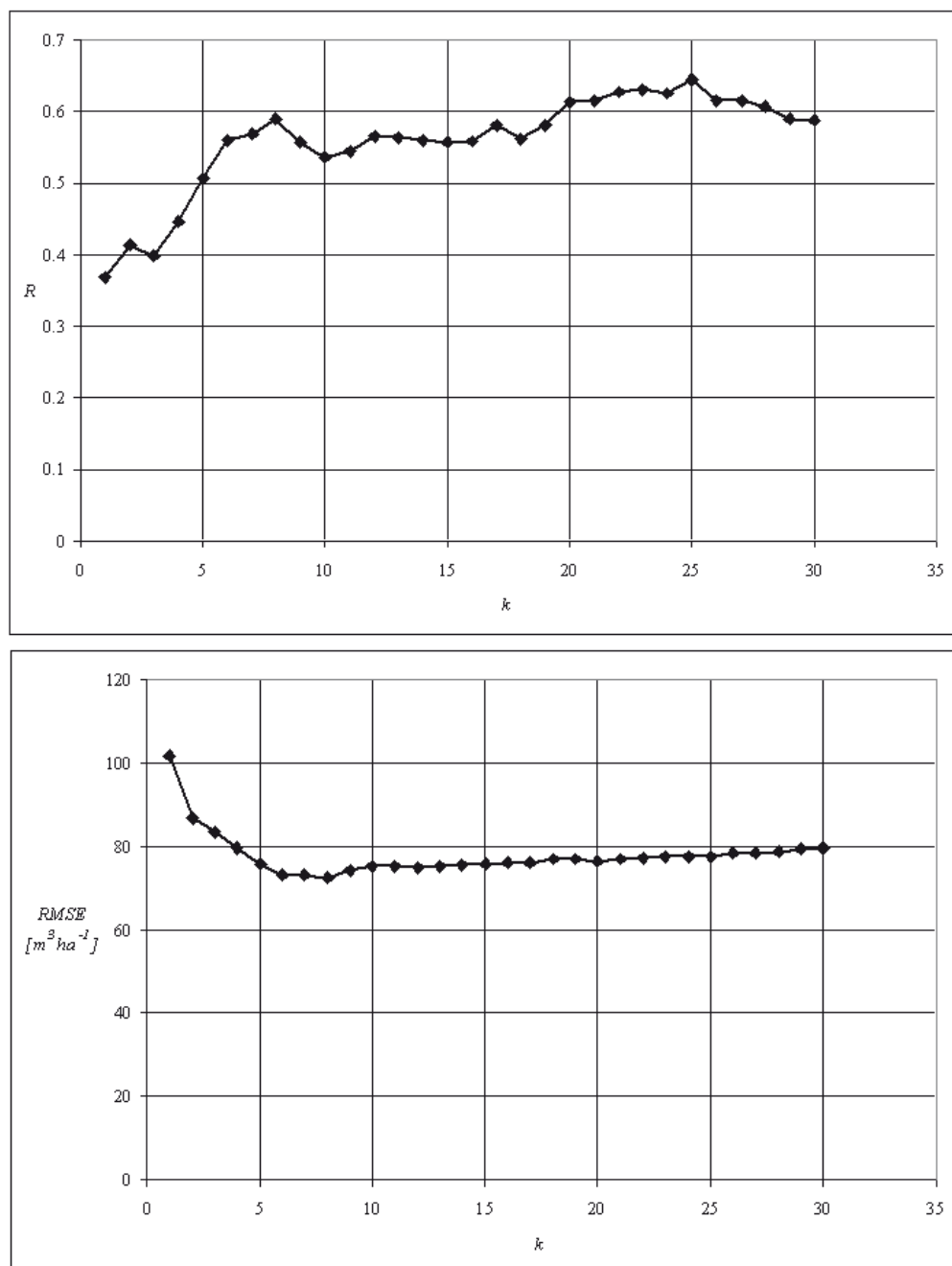


Figura 3 - Coefficiente di correlazione di Pearson (R) e scostamento quadratico medio ($RMSE$) tra valori veri e valori predetti di provvigione legnosa in funzione di k .

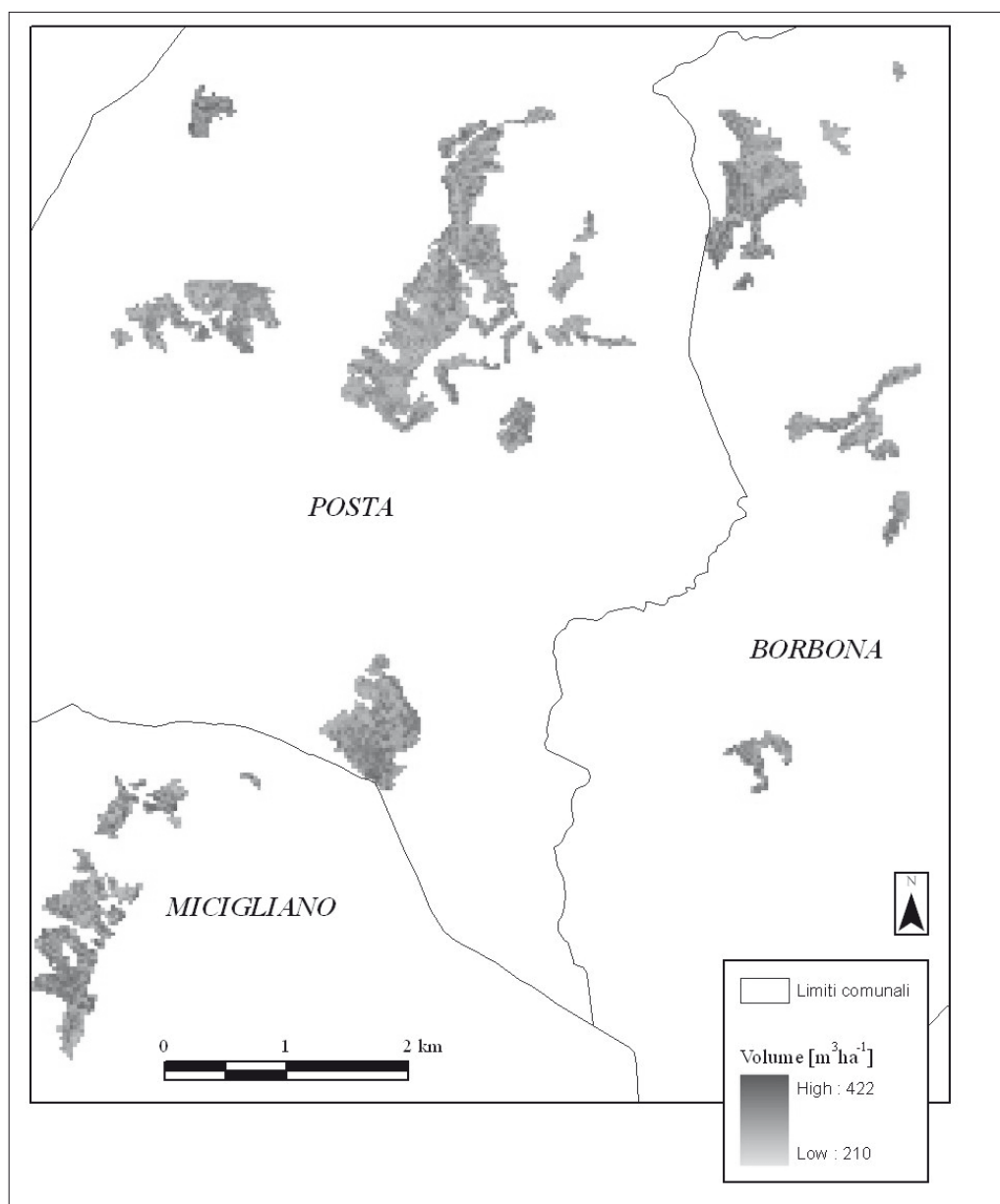


Figura 4 - Dettaglio della spazializzazione della provvigione legnosa dei rimboschimenti a prevalenza di pino nero in provincia di Rieti.

Le superfici adiacenti alle tessere rimboschite sono oggi rappresentate in prevalenza da altre formazioni forestali, all'interno di una matrice composta principalmente da boschi di faggio e di querce caducifoglie: in questi ambienti l'affermazione delle latifoglie autoctone all'interno delle tessere rimboschite è facilitata dalla vicinanza delle fonti di seme, che possono favorire fenomeni spontanei di rinaturalizzazione, soprattutto dove è maggiore la

Tabella 2 - Superficie e provvigione legnosa dei rimboschimenti a prevalenza di pino nero in provincia di Rieti.

<i>Comune</i>	<i>Superficie [ha]</i>	<i>Provvigione legnosa [m³]</i>
Accumoli	124,6	35330
Amatrice	284,2	90686
Antrodoco	77,0	22788
Belmonte in Sabina	3,2	893
Borbona	195,3	60245
Borgo Velino	11,5	3638
Borgorose	25,4	8096
Cantalice	43,8	13004
Castel di Tora	8,6	2503
Castel Sant'Angelo	1,2	326
Cittaducale	70,2	21395
Cittareale	88,3	27514
Collalto Sabino	3,2	1034
Colle di Tora	5,3	1632
Collegiove	5,1	1659
Contigiano	16,6	4896
Cottanello	2,5	715
Fiamignano	246,0	71797
Greccio	12,0	3573
Leonessa	225,2	66887
Longone Sabino	1,0	286
Marcetelli	2,8	863
Micigliano	73,1	22180
Monte San Giovanni in Sabina	146,6	43886
Monteleone Sabino	3,5	1120
Morro Reatino	9,9	2827
Orvinio	10,0	3126
Paganico	10,4	3083
Petrella Salto	111,5	34616
Poggio Bustone	15,3	4449
Poggio Catino	6,3	1838
Poggio Moiano	50,8	16137
Posta	309,0	90277
Pozzaglia Sabina	94,0	28459
Rieti	155,2	47861
Rivodutri	16,5	5028
Scandriglia	6,9	2010
Torricella in Sabina	4,7	1344
Varco Sabino	7,8	2411

Tabella 3 - Principali elementi di costo connessi alla realizzazione dell'inventario ricognitivo della provvigione legnosa dei rimboschimenti di pino nero in provincia di Rieti (valori aggiornati a novembre 2006).

Tipologia	Descrizione	Costo
Materiale	Immagine satellitare multispettrale Landsat 7 ETM+	scaricabile online ¹
Materiale	Ortofoto a colori	visualizzabili online ²
Attrezzature	Software GIS per analisi d'immagini con modulo per analisi <i>k</i> -NN con distanza euclidea (Idrisi Andes)	€ 1000
Attrezzature	Software per analisi <i>k</i> -NN	€ 400
Personale	Realizzazione di 50 aree di saggio temporanee (70 €/area)	€ 3500
Personale	Fotointerpretazione a video dei rimboschimenti (150 €/g - 5 gg)	€ 750
Personale	Verifiche a terra (200 €/g - 3 gg)	€ 600
Personale	Elaborazioni per la spazializzazione (300 €/g - 2 gg)	€ 600

¹ Le immagini satellitari Landsat sono scaricabili presso il sito: <http://landsat.usgs.gov/index.php> (novembre 2006)

² Le ortofoto a colori sono visualizzabili online sul Portale Cartografico Nazionale del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio: <http://www.pcn.minambiente.it/PCN/default.htm> (novembre 2006)

densità media degli ecotoni [Forman e Godron, 1986; McGarigal e Marks, 1995], come nei rimboschimenti dei rilievi montani.

Come per gran parte degli impianti di pino nero in Italia, anche in provincia di Rieti le cure colturali sono state in molti casi trascurate, così come gli interventi intercalari. In relazione a ciò, molti impianti presentano segni di degrado strutturale, particolarmente accentuato laddove il soprassuolo è stato anche percorso dal fuoco. Nonostante ciò, le quantità di massa legnosa rilevate nei rimboschimenti indagati sono tutt'altro che trascurabili, evidenziandone le potenzialità anche in termini ecofunzionali, e prospettando l'opportunità di azioni e interventi specifici mirati a una loro valorizzazione.

A margine delle suddette considerazioni si ribadisce l'utilità di inventari ricognitivi a costi relativamente contenuti, quali quello presentato (Tab. 3). Anche sotto il profilo della precisione estimativa (errore medio della stima della provvigione legnosa pari a 1%, valutato secondo il protocollo di validazione indipendente *leave-one-out*), i risultati qui ottenuti con la tecnica *k*-NN sono in linea con altre sperimentazioni condotte in Italia [Maselli et al., 2003; Chirici e Corona, 2006; Bertini et al., 2007], cosicché essa sembra ormai matura per un utilizzo operativo, anche a livello professionale, in applicazioni di tipo inventariale.

Ringraziamenti

Lavoro svolto con fondi del progetto Ri.Selv.Italia 4.1.4 (U.O. DISAFRI – Responsabile scientifico: P. Corona). Si ringraziano S. Federici per la messa a disposizione dell'archivio storico dei rimboschimenti di pino nero della provincia di Rieti, F. Vergari per il supporto prestato durante i rilievi a terra e R. Laforteza per la revisione critica di una precedente versione del lavoro.

Bibliografia

Bellezza P., Corona P., Ferrari B., Plutino M. (2005) - *Analisi del processo di rinnovazione in una pineta di pino nero presso Rieti*. EM Linea Ecologica, 2: 42-50.
 Bernetti G. (1995) - *Selvicoltura speciale*. UTET, Torino.

- Bertini R., Chirici G., Corona P., Travaglini D. (2007) - *Confronto di metodi parametrici e non-parametrici per la spazializzazione della provvigione legnosa tramite integrazione di misure a terra, dati telerilevati e informazioni ancillari*. Forest@, 4 (1): 110-117. [online] URL: <http://www.sisef.it/>.
- Bianchi L., Paci M. (2002) - *Tipologia delle pinete di pino nero del Parco Nazionale Foreste Casentinesi, Monte Falterona e Campigna*. Annali Accademia Italiana Scienze Forestali, LI: 73-120.
- Birth G.S., McVey G. (1968) - *Measuring the color of growing turf with a reflectance spectrophotometer*. Agron. Journal, 60: 640-643.
- Blasi C. (1994) - *Il fitoclima del Lazio*. Fitosociologia, 27: 151-175.
- Bologna S., Chirici G., Corona P., Marchetti M., Pugliese A., Munafò M. (2004) - *Sviluppo e implementazione del IV livello Corine Land Cover 2000 per i territori boscati e ambienti semi-naturali in Italia*. Atti della 8ª Conferenza Nazionale ASITA. Roma, 14-17 dicembre 2004. pp. 467-472.
- Boscaleri F., Corona P., Maetzke F. (2004) - *Valutazione dell'attitudine alla rinaturalizzazione dei rimboschimenti. Il caso di Monte Morello*. EM Linea Ecologica, 1: 13-18.
- Cantiani P. (2000) - *Indicazioni gestionali in rimboschimenti di pino nero dell'Appennino centro-settentrionale*. In: Atti IIº Congresso SISEF, "Applicazioni e prospettive per la ricerca forestale Italiana", a cura di Bucci G., Minotta G., Borghetti M., Edizioni Avenue media, Bologna, pp. 125-130.
- Chirici G., Corona P. (2006) - *Utilizzo di immagini satellitari ad alta risoluzione nel rilevamento delle risorse forestali*. Aracne Editrice, Roma.
- Federici S. (1999) - *Analisi dei rimboschimenti di pino nero della provincia di Rieti ai fini della gestione pianificata*. Tesi di Dottorato di Ricerca, DISAFRI, Università della Tuscia, Viterbo.
- Forman R.T.T., Godron M. (1986) - *Landscape Ecology*. John Wiley & Sons, New York, USA.
- Goel N.S., Qin W. (1994) - *Influences of canopy architecture on relationships between various vegetation indices and LAI and FPAR: a computer simulation*. Remote Sensing Reviews, 10: 309-347.
- Hellrigl B. (1969a) - *Tavola cormometrica ad una sola entrata. Pino nero e laricio della Toscana*. In: Tavole stereometriche ed alsometriche costruite per boschi italiani, a cura di Castellani C., ISAF. Trento.
- Hellrigl B. (1969b) - *Tavola cormometrica ad una sola entrata. Pino nero e laricio di Val-lombrosa*. In: Tavole stereometriche ed alsometriche costruite per boschi italiani, a cura di Castellani C., ISAF. Trento.
- Katila M. (2004) - *Controlling the estimation errors in the Finnish multisource national forest inventories*. Academic dissertation, Finnish Forest Research Institute, Research paper 910. pp. 35.
- Lymburner L., Beggs P.J., Jacobson C.R. (2000) - *Estimation of canopy-average surface-specific leaf area using Landsat TM data*. Photogramm. Eng. Remote Sens., 66 (2): 183-191.
- Maricchiolo C., Sambucini V., Pugliese A., Blasi C., Marchetti M., Chirici G., Corona P. (2004) - *La realizzazione in Italia del progetto europeo I&CLC2000: metodologie operative e risultati*. Atti della 8ª Conferenza Nazionale ASITA, Roma, 14-17 dicembre 2004. pp. CXIII-CXXVIII.
- Maselli F., Bottai L., Chirici G., Corona P., Marchetti M., Travaglini D. (2003) - *Stima di attributi forestali in ambiente mediterraneo tramite integrazione di misure a terra e dati telerilevati*. L'Italia Forestale e Montana, 58 (4): 251-263.

- McGarigal K., Marks B.J. (1995) - *FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- Montanarella L., Filippi N., Rusco E., Marchetti M. (2003) - *Carta Ecopedologica d'Italia. Scala 1:250.000*. Technical EUR Reports 20774/IT, Institute for Environment and Sustainability.
- Musick H.B., Pelletier R.A. (1986) - *Response of some Thematic Mapper band ratios to variation in soil water content*. Photogram. Eng. Remote Sens., 52: 1661-1668.
- Nocentini S. (1995) - *La rinaturalizzazione dei rimboschimenti. Una prova su pino nero e laricio nel complesso di Monte Morello (Firenze)*. L'Italia Forestale e Montana, 4: 425-435.
- Saunders D.A., Hobbs R.J., Margules C.R. (1991) - *Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review*. Conservation Biology, 5: 18-32.
- Tucker C.J., Grant D.M., Dykstra J.D. (2004) - *NASA's global orthorectified Landsat data set*. Photogram. Eng. Remote Sens., 70 (3): 313-322.
- Turner M.G., O'Neill R.V., Gardner R.H., Milne B.T. (1989) - *Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern*. Landscape Ecology, 3: 153-162.
- Vogt P., Riitters K.H., Estreguil C., Kozak J., Wade T.G., Wickham J.D. (2007) - *Mapping spatial patterns with morphological image processing*. Landscape Ecology, 22: 171-177.
- Wang J., Rich P.M., Price K.P., Kettle W.D. (2004) - *Relations between NDVI and tree productivity in the central Great Plains*. Int. J. Remote Sens., 25 (16): 3127-3138.

Manoscritto ricevuto il 10/03/2007, accettato il 18/06/2007.